

PENCARIAN RUTE OPTIMAL TRAVELING SALESMAN PROBLEM DENGAN ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION (ACO)

Aliffia Yasya Nuraliya

Jurusan Matematika, Prodi Matematika, Universitas Jenderal Soedirman

Siti Rahmah Nurshiami*

Jurusan Matematika, Prodi Matematika, Universitas Jenderal Soedirman
siti.nurshiami@unsoed.ac.id

Jajang

Jurusan Matematika, Prodi Statistika, Universitas Jenderal Soedirman

ABSTRACT. *The implementation of product distribution requires transportation to deliver products effectively across various locations. Challenges encountered during this process include varying distribution sites, travel distances, time taken for product delivery, transportation costs, and other related factors. PT. Indragraha Nusaplasindo experienced delays in product delivery to consumers. This is because there is no definite route for which consumers will be passed first. After all, a salesman is only given a list of consumer names, addresses, and the number of items to be delivered. Consumer selection is done randomly. To address these challenges, selecting an efficient travel route is crucial. The Traveling Salesman Problem (TSP) serves as a practical application of graph theory in tackling such distribution issues. The Ant Colony Optimization (ACO) algorithm emerges as a viable solution for route optimization, particularly in addressing the challenges of the Traveling Salesman Problem (TSP) to derive optimal routes. Results derived from the TSP calculations utilizing ACO, executed through the Matlab R2018a application, employed parameters of $\alpha = 1$ and β ranging from 2 to 5. A total of 300 iterations were conducted, with the optimal route identified at the 247th iteration, resulting in a travel duration of 1,557 minutes and a performance metric of $\beta = 4.48$. These findings confirm the effectiveness of ACO in optimizing distribution processes that involve multiple delivery sites, thereby facilitating the identification of optimal routes.*

Keywords: *Distribution, Optimal Routes, Graph Theory, Traveling Salesman Problem (TSP), Ant Colony Optimization (ACO).*

ABSTRAK. Pelaksanaan distribusi produk membutuhkan transportasi untuk mengirimkan produk ke berbagai lokasi. Tantangan yang dihadapi selama proses ini meliputi lokasi distribusi yang bervariasi, jarak tempuh, waktu yang dibutuhkan untuk pengiriman produk, biaya transportasi, dan faktor terkait lainnya. PT. Indragraha Nusaplasindo mengalami keterlambatan pengiriman produk ke konsumen. Hal ini dikarenakan tidak ada rute pasti konsumen mana yang akan dilalui terlebih dahulu, karena seorang *salesman* hanya diberikan list nama-nama konsumen, alamat, dan jumlah barang yang akan diantar. Pemilihan konsumen dilakukan secara acak. Untuk mengatasi tantangan ini, memilih rute perjalanan yang efisien sangat penting. *Traveling Salesman Problem* (TSP) merupakan salah satu aplikasi teori graf yang dapat digunakan untuk masalah pendistribusian. Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dapat dipergunakan untuk mengatasi permasalahan TSP untuk mendapatkan rute yang optimal. Hasil yang

*Penulis Korespondensi

diperoleh dari perhitungan TSP menggunakan ACO melalui aplikasi Matlab R2018a menggunakan parameter $\alpha = 1$ dan β berkisar antara 2 hingga 5. Sebanyak 300 iterasi dilakukan, dengan rute optimal diidentifikasi pada iterasi ke-247, mencapai durasi perjalanan 1.557 menit dan $\beta = 4,48$. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan ACO untuk proses distribusi yang melibatkan banyak lokasi pengiriman menghasilkan rute optimal dan mempercepat pencarian rute optimal.

Kata Kunci: Distribusi, Rute Optimal, Teori Graf, *Traveling Salesman Problem* (TSP), *Ant Colony Optimization* (ACO).

1. PENDAHULUAN

Distribusi produk bertujuan untuk mempermudah pengiriman barang dari produsen ke konsumen sesuai dengan jenis, jumlah, harga, tempat, dan waktu yang dibutuhkan. Hal ini penting untuk memastikan keberlangsungan produk dan mendukung sistem ekonomi dan bisnis. Masalah umum dalam distribusi termasuk rute, waktu, dan biaya transportasi. Salah satu solusi untuk efisiensi distribusi adalah memilih rute perjalanan yang optimal.

PT. Indragraha Nusaplasindo yang beroperasi pada bidang plastik di Tangerang mengalami keterlambatan pengiriman ke konsumen di wilayah Jabodetabek akibat armada yang tidak memadai. Proses pendistribusian yang terjadi saat ini masih belum menggunakan perhitungan atau metode tertentu untuk menentukan rute. Tidak ada rute pasti konsumen mana yang akan dilalui terlebih dahulu, karena seorang *salesman* hanya diberikan list nama-nama konsumen, alamat, dan jumlah barang yang akan diantar. Pemilihan konsumen dilakukan secara acak melihat kondisi jalanan. Oleh karena itu PT. Indragraha Nusaplasindo perlu memperbaiki sistem distribusinya.

Permasalahan ini sering dikenal dengan *Traveling Salesman Problem* (TSP), yang bertujuan menemukan rute terpendek dengan meminimalkan biaya dan waktu untuk mengunjungi beberapa kota dan kembali ke kota semula sedemikian sehingga setiap kota dikunjungi tepat satu kali. Persoalan mencari lintasan terpendek dapat menggunakan graf, dengan titik menginterpretasikan sebagai kota dan sisi menginterpretasikan jarak antar kota.

Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) adalah salah satu solusi efektif untuk menyelesaikan TSP, dengan meniru perilaku koloni semut dalam mencari jalur terpendek. Secara alamiah koloni semut mampu menemukan rute optimal

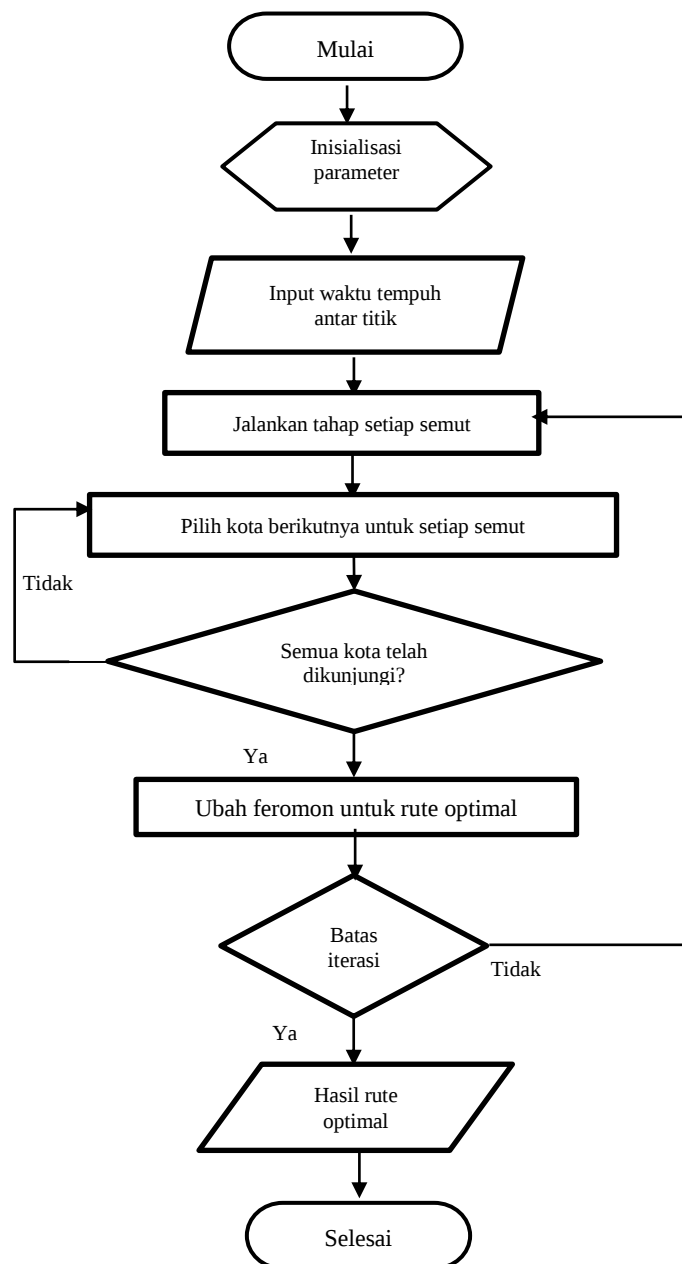
dalam perjalanan dari sarang ke tempat sumber makanan. Koloni semut dapat menentukan rute optimal antara sarang dan sumber makanan berdasarkan jejak kaki pada lintasan yang telah dilalui. Koloni semut menghasilkan zat yang bernama feromon sebagai alat komunikasi dengan semut lainnya. Zat feromon yang dihasilkan dapat menguap seiring berjalannya waktu. Semakin jauh jarak yang dilintasi maka akan semakin lama semut melewati jalur tersebut sehingga feromon lebih cepat berkurang karena menguap dibandingkan feromon jalur yang lebih pendek, sehingga semut-semut cenderung akan memilih rute dengan jarak terpendek. Mekanisme feromon untuk menandai rute yang sudah dilalui membantu semut lainnya dalam memilih rute yang lebih baik berdasarkan pengalaman kolektif, sehingga mempercepat konvergensi ke solusi optimal. Metode ini fleksibel dan dapat disesuaikan untuk berbagai masalah optimasi. Algoritma ACO dapat digunakan untuk menemukan rute optimal dalam distribusi barang (Sihotang & Siregar, 2024), (Ina & Odja, 2022), (Jumaedi et al., 2022), (Risqiyanti et al., 2019), permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) (Muna, 2022), pencarian jalur berdasarkan kepadatan lalu lintas (Fariza et al., 2020), penjadwalan mesin (Supranata & Wijayanti, 2023), kendali lampu lalu lintas pintar (Ridwan et al., 2022), pengujian perangkat lunak (Puteri et al., 2020), menyelesaikan masalah kombinasi (Hadi et al., 2024), dan untuk menentukan optimal parameter PID dalam kendali kecepatan motor *Direct Current* (DC) (Purba et al., 2016). Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan algoritma ACO dalam menentukan rute distribusi optimal di PT. Indragraha Nusaplasindo, guna meningkatkan efisiensi operasional perusahaan.

2. METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian ini dimulai dengan mengidentifikasi masalah, yaitu mencari rute optimal untuk mengantarkan produk ke konsumen di wilayah Jabodetabek. Data yang digunakan adalah data kuantitatif. Sumber data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh melalui wawancara dengan pihak PT. Indragraha Nusaplasindo dan menggunakan *Google Maps*.

Data yang dikumpulkan meliputi jumlah konsumen yang menjadi titik pemberhentian, alamat konsumen, waktu tempuh antar titik, serta proses

pengiriman barang. Setelah itu, graf awal dibentuk berdasarkan titik-titik antar lokasi yang menjadi tujuan *drop point*, dengan waktu tempuh yang dihitung menggunakan *Google Maps*. Rute yang disarankan oleh *Google Maps* sebagai rute tercepat dan di jalur yang sesuai. Graf awal yang terbentuk merupakan graf lengkap berbobot. Terakhir, rute optimal ditentukan menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO), dengan mengikuti tahapan-tahapan yang ada dalam algoritma tersebut. *Algoritma ACO* dapat digambarkan pada Diagram Alir berikut:

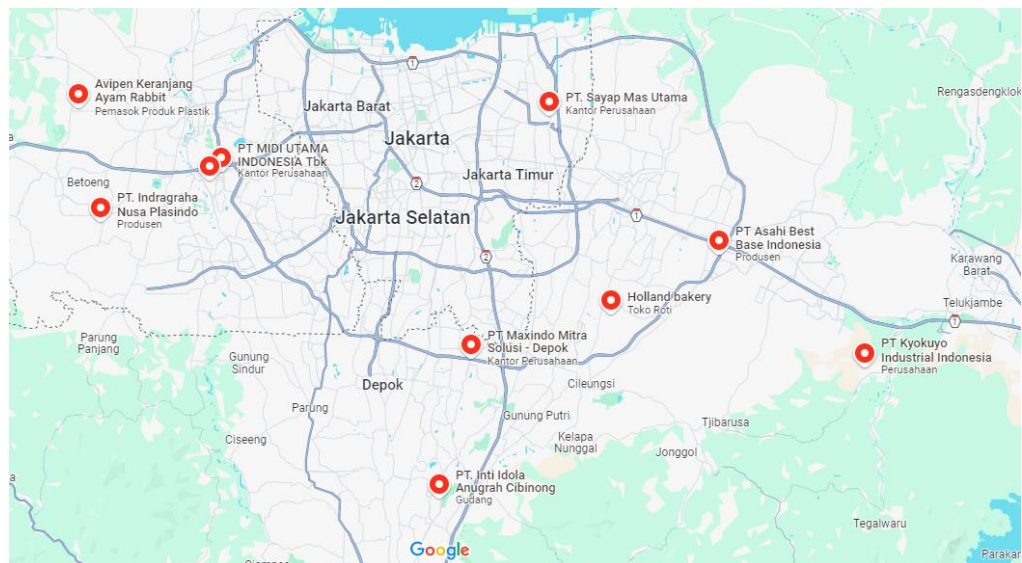


Gambar 1. Flowchart Ant colony Optimization (ACO)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data pengiriman produk PT. Indragraha Nusaplasindo yang berada di Kabupaten Tangerang, Banten sebagai titik awal ke titik-titik pendistribusian. Penulis mendapatkan informasi alamat perusahaan di daerah Jabodetabek yang akan dituju. Titik-titik lokasi perusahaan dengan bantuan *Google Maps* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Titik-titik Lokasi Perusahaan

Selanjutnya PT. Indragraha Nusaplasindo dan tempat tujuan pengiriman diubah ke dalam bentuk notasi titik pada graf. Penotasian dari masing-masing variabel titik perusahaan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penotasian Nama Tempat

v_1	: PT. Indragraha Nusaplasindo
v_2	: Avipen Keranjang Ayam Rabbit
v_3	: PT. Petra Sejahtera Abadi
v_4	: PT. Midi Utama Indonesia Tbk.
v_5	: PT. Maxindo Mitra Solusi
v_6	: PT. Inti Idola Anugrah Cibinong
v_7	: Holland Bakery
v_8	: PT. Sayap Mas Utama
v_9	: PT. Asahi Best Base Indonesia
v_{10}	: PT. Kyokuyo Industrial Indonesia

Data yang telah dikumpulkan berupa waktu tempuh antar perusahaan (d_{ij}) yang direkomendasikan *Google Maps* sebagai waktu tempuh (menit). Waktu tempuh antar perusahaan yang digunakan pada penelitian ini adalah waktu tempuh dengan

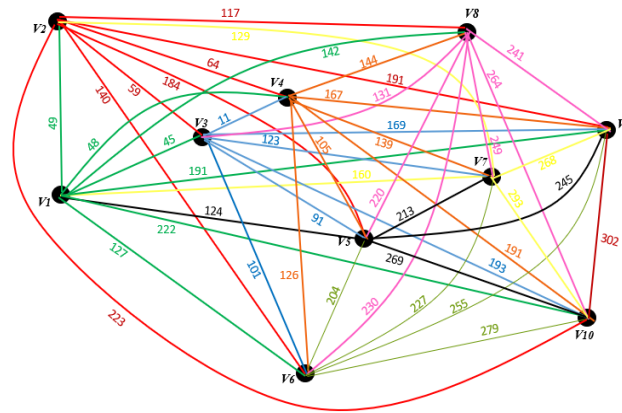
perjalanan normal tanpa hambatan seperti kemacetan, jalan rusak, dan hambatan lainnya. Matriks waktu tempuh disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Matriks Waktu Tempuh antar Perusahaan

d_{ij}	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8	v_9	v_{10}
v_1	0	49	45	48	124	127	160	142	191	222
v_2	49	0	59	64	184	140	129	117	191	223
v_3	45	59	0	11	91	101	123	131	169	193
v_4	48	64	11	0	105	126	139	144	167	191
v_5	124	184	91	105	0	204	213	220	245	269
v_6	127	140	101	126	204	0	227	230	255	279
v_7	160	129	123	139	213	227	0	249	268	293
v_8	142	117	131	144	220	230	249	0	241	264
v_9	191	191	169	167	245	255	268	241	0	302
v_{10}	222	223	193	191	269	279	293	264	302	0

3.2 Pembentukan Graf

Berdasarkan Tabel 2, akan dibentuk sebuah graf berbobot yang merepresentasikan perusahaan dan waktu tempuh antar perusahaan. Titik pada graf merepresentasikan nama perusahaan, sisi pada graf merepresentasikan waktu tempuh antar perusahaan. Graf yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Graf yang terbentuk

3.3 Penentuan Rute Terpendek Menggunakan Algoritma ACO

Implementasi algoritma ACO dalam menentukan rute optimal sebagai berikut:

Langkah 1: Inisialisasi parameter:

- Parameter yang digunakan adalah pengendali intensitas jejak feromon semut (α), parameter pengendali visibilitas (β), kecepatan penguapan jejak feromon semut (ρ), banyak semut (m), dan feromon (τ). Pemilihan α, β , dan ρ pada permasalahan TSP adalah $\alpha > 0$, $\beta > 0$,

$0 < \rho < 1$ (Dorigo & Stützle, 2019). Nilai feromon awal τ_0 dipilih secara sembarang untuk semua jalur (Dorigo et al., 1991). Pada penelitian ini, parameter yang digunakan adalah $\alpha = 1$, $\beta = 2$ sampai 5, dan $\rho = 0,5$, $m = 10$ dan feromon awal $\tau_0 = 1$ untuk semua jalur;

- menghitung nilai visibilitas $\eta = \frac{1}{d_{ij}}$, dengan d_{ij} menyatakan waktu tempuh dari titik i ke titik j . Untuk $i = j$, $\eta = \infty$.

Nilai visibilitas yang didapatkan disajikan pada matriks berikut:

$$\eta = \begin{bmatrix} \infty & 0,02041 & 0,02222 & 0,02083 & 0,00806 & 0,00787 & 0,00625 & 0,00704 & 0,00524 & 0,0045 \\ 0,02041 & \infty & 0,01695 & 0,01563 & 0,00543 & 0,00714 & 0,00775 & 0,00855 & 0,00524 & 0,00448 \\ 0,02222 & 0,01695 & \infty & 0,09091 & 0,01099 & 0,0099 & 0,00813 & 0,00763 & 0,00592 & 0,00518 \\ 0,02083 & 0,01563 & 0,09091 & \infty & 0,00952 & 0,00794 & 0,00719 & 0,00694 & 0,00599 & 0,00524 \\ 0,00806 & 0,00543 & 0,01099 & 0,00952 & \infty & 0,0049 & 0,00469 & 0,00455 & 0,00408 & 0,00372 \\ 0,00787 & 0,00714 & 0,0099 & 0,00794 & 0,0049 & \infty & 0,00441 & 0,00435 & 0,00392 & 0,00358 \\ 0,00625 & 0,00775 & 0,00813 & 0,00719 & 0,00469 & 0,00441 & \infty & 0,00402 & 0,00373 & 0,00341 \\ 0,00704 & 0,00855 & 0,00763 & 0,00694 & 0,00455 & 0,00435 & 0,00402 & \infty & 0,00415 & 0,00379 \\ 0,00524 & 0,00524 & 0,00592 & 0,00599 & 0,00408 & 0,00392 & 0,00373 & 0,00415 & \infty & 0,00331 \\ 0,0045 & 0,00448 & 0,00518 & 0,00524 & 0,00372 & 0,00358 & 0,00341 & 0,00379 & 0,00331 & \infty \end{bmatrix}$$

Langkah 2: Penyusunan jalur kunjungan setiap semut:

- inialisasi kota pertama setiap semut dengan menempatkan masing-masing semut berawal di v_1 ;
- mencatat setiap titik yang dikunjungi (memori);
- kemudian untuk menghitung nilai probabilitas dari titik v_1 ke titik lainnya menggunakan persamaan

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij})^\alpha \cdot (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{l \in J} (\tau_{il})^\alpha \cdot (\eta_{il})^\beta} & , \text{jika } j \in J \\ 0 & , \text{lainnya} \end{cases} \quad (1)$$

dengan

$P_{ij}^k(t)$: peluang semut k untuk berkunjung dari kota i ke kota j pada iterasi $ke-t$

τ_{ij} : feromon dari kota i ke kota j

η_{ij} : nilai visibilitas dari kota i ke kota j

$\sum_{l \in J} [\tau_{il}]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta$: penjumlahan dari semua jalur l yang terdapat pada himpunan J , dimana J adalah himpunan titik yang akan dikunjungi oleh semut k yang berada di titik i .

Probabilitas semut ke-1 dari titik v_1 ke titik v_2 adalah :

$$P_{1,2}^1(1) = \frac{[\tau_{1,2}]^1 \cdot [\eta_{1,2}]^2}{[\tau_{1,2}]^1 \cdot [\eta_{1,2}]^2 + [\tau_{1,3}]^1 \cdot [\eta_{1,3}]^2 + [\tau_{1,4}]^1 \cdot [\eta_{1,4}]^2 + \dots + [\tau_{1,10}]^1 \cdot [\eta_{1,10}]^2}$$

$$P_{1,2}^1(1) = \frac{0,02041}{0,10243} = 0,19923.$$

Nilai probabilitas dan kumulatif untuk semut ke-1 dari titik v_1 ke titik lainnya tertuang pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Probabilitas dan Kumulatif semut ke-1 dari titik v_1

Rute	Nilai Probabilitas	Nilai Kumulatif
$v_1 \rightarrow v_2$	0,19923	0,19923
$v_1 \rightarrow v_3$	0,21694	0,41617
$v_1 \rightarrow v_4$	0,20338	0,61955
$v_1 \rightarrow v_5$	0,07873	0,69828
$v_1 \rightarrow v_6$	0,07687	0,77515
$v_1 \rightarrow v_7$	0,06101	0,83616
$v_1 \rightarrow v_8$	0,06875	0,90491
$v_1 \rightarrow v_9$	0,05111	0,95603
$v_1 \rightarrow v_{10}$	0,04397	1

Berdasarkan Tabel 3 akan dipilih titik selanjutnya dengan membangkitkan bilangan random r , didapatkan: $r = 0,87042$. Nilai r yang dibangkitkan apabila dilihat dengan nilai kumulatif pada Tabel 3 kurang dari 0,90491, sehingga titik selanjutnya yang akan dipilih adalah titik v_8 . Kemudian dicatat memori (v_1, v_8) dan menghitung probabilitas dari v_8 ke titik-titik lainnya $v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_9, v_{10}$ menggunakan rumus probabilitas pada persamaan (1), kemudian membangkitkan bilangan random r untuk memilih titik selanjutnya yang akan dikunjungi. Lakukan hal yang sama sampai semua titik dikunjungi. Rute optimal yang diperoleh untuk semut ke-1 adalah $v_1, v_8, v_9, v_2, v_4, v_6, v_7, v_{10}, v_3, v_5, v_1$ dengan total waktu tempuh 1.692 menit. Kemudian ulangi hal yang sama untuk mencari rute optimal semut ke-2 sampai semut ke-10. Perhitungan yang telah dilakukan untuk 10 semut, didapatkan rute dan total waktu tempuh disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Rute dan Total Waktu Tempuh Setiap Semut

Semut	Rute	Total Waktu Tempuh (L_k)
Semut 1	$v_1, v_8, v_9, v_2, v_4, v_6, v_7, v_{10}, v_3, v_5, v_1$	1.692 menit
Semut 2	$v_1, v_6, v_3, v_5, v_{10}, v_8, v_7, v_2, v_4, v_9, v_1$	1.585 menit
Semut 3	$v_1, v_4, v_3, v_6, v_5, v_{10}, v_8, v_9, v_7, v_2, v_1$	1.584 menit
Semut 4	$v_1, v_4, v_2, v_3, v_6, v_8, v_7, v_{10}, v_9, v_5, v_1$	1.715 menit
Semut 5	$v_1, v_3, v_4, v_2, v_{10}, v_9, v_5, v_8, v_7, v_6, v_1$	1.713 menit
Semut 6	$v_1, v_5, v_3, v_6, v_2, v_7, v_8, v_9, v_{10}, v_4, v_1$	1.713 menit
Semut 7	$v_1, v_3, v_5, v_4, v_7, v_6, v_{10}, v_8, v_2, v_9, v_1$	1.649 menit
Semut 8	$v_1, v_4, v_2, v_7, v_3, v_5, v_9, v_6, v_8, v_{10}, v_1$	1.671 menit
Semut 9	$v_1, v_5, v_{10}, v_8, v_2, v_9, v_4, v_3, v_6, v_7, v_1$	1.631 menit
Semut 10	$v_1, v_4, v_9, v_3, v_5, v_6, v_{10}, v_7, v_2, v_8, v_1$	1.639 menit

Langkah 3: Pembaruan feromon dilakukan setelah semut menyelesaikan semua rutanya:

Total waktu tempuh dari masing-masing semut pada langkah 2 dipergunakan untuk memperbarui tingkat feromon. Proses selanjutnya adalah menghitung matriks perubahan intensitas feromon setiap semut dan memperbarui feromon global. Perubahan intensitas feromon setiap semut, menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{1}{L_k} \\ 0, & \text{jika jalur } (i, j) \text{ tidak ada dalam memori} \end{cases} \quad (2)$$

dengan L_k menyatakan total waktu tempuh semut ke- k .

Untuk memperbarui feromon global dengan persamaan

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}^k \quad (3)$$

Matriks feromon awal τ_0 yang masing-masing bernilai 1 akan mengalami penguapan sebesar $\rho = 0,5$. Semut-semut yang telah menyelesaikan rute dan memperoleh total jarak akan menambahkan nilai feromon berdasarkan rute yang ditempuh. Matriks perubahan feromon global dari semua semut disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Matriks Perubahan Feromon Global

τ_{ij}^{10}	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8	v_9	v_{10}
v_1	0,5	0,5	0,5012	0,5024	0,5012	0,5007	0,5	0,5006	0,5	0,5
v_2	0,5007	0,5	0,5006	0,5012	0,5	0,5	0,5012	0,5007	0,5012	0,5006
v_3	0,5	0,5	0,5	0,5006	0,5031	0,5024	0,5	0,5	0,5	0,5
v_4	0,5006	0,5018	0,5012	0,5	0,5007	0,5006	0,5006	0,5	0,5006	0,5
v_5	0,5018	0,5	0,5006	0,5006	0,5	0,5006	0,5	0,5006	0,5006	0,5019
v_6	0,5006	0,5006	0,5007	0,5	0,5007	0,5	0,5012	0,5006	0,5	0,5012
v_7	0,5006	0,5019	0,5006	0,5	0,5	0,5012	0,5	0,5006	0,5	0,5012
v_8	0,5006	0,5012	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5018	0,5	0,5018	0,5006
v_9	0,5007	0,5006	0,5006	0,5006	0,5012	0,5006	0,5006	0,5	0,5	0,5006
v_{10}	0,5006	0,5	0,5006	0,5006	0,5	0,5	0,5006	0,5025	0,5012	0,5

Berdasarkan Tabel 4, pada iterasi ke-1 diperoleh rute optimalnya pada semut 3 dengan rute $v_1, v_4, v_3, v_6, v_5, v_{10}, v_8, v_9, v_7, v_2, v_1$. Total waktu tempuh sebesar 1.584 menit dan berdasarkan Tabel 5, nilai feromon tertinggi pada 0,5031. Hasil tersebut belum dapat dijadikan sebagai solusi optimal sehingga perlu dilakukan penambahan iterasi untuk mendapatkan variasi rute dan total waktu tempuh yang lebih optimal. Untuk itu, dilakukan perhitungan menggunakan bantuan Matlab R2018a yang dapat mempersingkat waktu perhitungan. Penelitian ini menggunakan iterasi sebanyak 300 dengan parameter $\alpha = 1$ dan $\beta = 2$ sampai 5 dengan harapan rute yang didapat lebih variatif dan lebih optimal. Output dari Matlab R2018a dengan iterasi sebanyak 300 disajikan sebagai berikut:

Iterasi 1: Rute = [1 4 3 6 5 8 2 7 10 9 1], Biaya = 1616.00, Alpha = 1.00, Beta = 2.95

Iterasi 2: Rute = [1 4 3 7 2 8 5 9 10 6 1], Biaya = 1601.00, Alpha = 1.00, Beta = 2.41

Iterasi 3: Rute = [1 4 3 7 5 6 2 9 10 8 1], Biaya = 1638.00, Alpha = 1.00, Beta = 2.39

Iterasi 4: Rute = [1 8 10 9 5 3 4 7 6 2 1], Biaya = 1610.00, Alpha = 1.00, Beta = 2.43

⋮

Iterasi 246: Rute = [1 7 5 3 4 2 6 9 10 8 1], Biaya = 1642.00, Alpha = 1.00, Beta = 2.21

Iterasi 247: Rute = [1 6 3 4 5 7 9 10 8 2 1], Biaya = 1557.00, Alpha = 1.00, Beta = 4.48

Iterasi 248: Rute = [1 8 2 9 5 4 3 6 10 7 1], Biaya = 1644.00, Alpha = 1.00, Beta = 3.84

Iterasi 249: Rute = [1 2 8 10 6 9 4 3 5 7 1], Biaya = 1606.00, Alpha = 1.00, Beta = 4.43

Iterasi 250: Rute = [1 3 4 2 7 5 10 8 9 6 1], Biaya = 1618.00, Alpha = 1.00, Beta = 3.01

⋮

Iterasi 299: Rute = [1 2 4 3 6 5 9 7 8 10 1], Biaya = 1677.00, Alpha = 1.00, Beta = 4.92

Iterasi 300: Rute = [1 7 5 4 3 9 6 2 8 10 1], Biaya = 1656.00, Alpha = 1.00, Beta = 3.96.

Diperoleh rute optimal pada iterasi ke-247 dengan rute $v_1, v_6, v_3, v_4, v_5, v_7, v_9, v_{10}, v_8, v_2, v_1$ atau PT. Indragraha Nusaplasindo $\rightarrow$ PT. Inti Idola Anugrah

Cibinong → PT Sejahtera Abadi → PT. Midi Utama Indonesia Tbk. → PT. Maxindo Mitra Solusi → Holland Bakery → PT. Asahi Best Base Indonesia → PT. Kyokuyo Industrial Indonesia → PT. Sayap Mas Utama → Avipen Keranjang Ayam Rabbit → PT. Indragraha Nusaplasindo dengan waktu tempuh sebesar 1.557 menit dengan $\alpha = 1$ dan $\beta = 4,48$.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dapat diimplementasikan untuk pencarian rute optimal pada permasalahan pendistribusian di PT. Indragraha Nusaplasindo dan perhitungan dibantu *software* Matlab R2018a. Pada penelitian ini parameter yang digunakan adalah $\alpha = 1$, $\beta = 4,48$, dan $\rho = 0,5$ dengan jumlah semut sebanyak jumlah titik yaitu 10 dan iterasi sebanyak 300. Rute terpendek diperoleh pada iterasi ke 247 yaitu atau PT. Indragraha Nusaplasindo → PT. Inti Idola Anugrah Cibinong → PT Sejahtera Abadi → PT. Midi Utama Indonesia Tbk. → PT. Maxindo Mitra Solusi → Holland Bakery → PT. Asahi Best Base Indonesia → PT. Kyokuyo Industrial Indonesia → PT. Sayap Mas Utama → Avipen Keranjang Ayam Rabbit → PT. Indragraha Nusaplasindo.

DAFTAR PUSTAKA

- Dorigo, M., Maniezzo, V., & Colorni, A., *Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process*, Technical Report 91-106 revised, Department of Electronic, Politecnico of Milano, Milan, Italy, 1991
- Dorigo, M., & Stützle, T., *Ant Colony Optimization: Overview and Recent Advances: In International Series in Operations Research and Management Science*, **272** (2019), Springer, New York LLC, 311–351, https://doi.org/10.1007/978-3-319-91086-4_10.
- Fariza, A., Basofi, A., & Hidayat, M. R., *Pencarian Jalur berdasarkan Kepadatan Lalu Lintas di Surabaya Menggunakan Algoritma Koloni Semut*, Journal of Applied Computer Science and Technology, **1**(2) (2020), 50–55, <https://doi.org/10.52158/jacost.v1i2.10>.
- Hadi, A. R., Mandalina, V., Sirajuddin, & Syaharuddin., *Evaluasi Perbandingan Penggunaan Metode Heuristik dan Algoritma Optimasi dalam Menyelesaikan Masalah Kombinasi pada Matematika Diskrit*, Seminar

- Nasional Paedagoria, 2024, 177.
- Ina, W. T., & Odja, M. O., *Implementasi Algoritma Koloni Semut Pada Traveling Salesman Problem Menggunakan Matlab 7.8*, Jurnal Media Elektro, 11(1) (2022), 52–57, <https://doi.org/10.35508/jme.v0i0.6585>.
- Jumaedi, S. N., Abidin, W., & Nurman, T. A., *Penerapan Algoritma Ant Colony Optimization (ACO) Rute Jalur Terpendek (Studi Kasus Distribusi Barang JNE Wilayah Bumi Tamalanrea Permai (BTP))*, Jurnal Matematika dan Statistika serta Aplikasinya, 12(1) (2022), 108.
- Muna, I. H., *Performansi Analisis Algoritma Koloni Semut (Ant Colony Optimization) dalam Menyelesaikan Permasalahan Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*, Science Tech : Jurnal Ilmiah Pengetahuan dan Teknologi, 8(2) (2022), 98–112.
- Purba, M., Handoko, S., & Facta, M., *Aplikasi Optimisasi Koloni Semut pada Domain Kontinu untuk Penentuan Parameter PID dalam Kontrol Kecepatan Motor Arus Searah*, Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 5(3) (2017), 373-380.
- Puteri, S. L. E., Rizal, M. R. R., & Agustina, F., *Survey Tentang Optimasi Koloni Semut (Ant Colony Optimization) Pada Pengujian Perangkat Lunak*, Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Komunikasi STI&K (SeNTIK), 4(1) (2020), 65–71.
- Ridwan, W., Kadir, Y., & Wiranto, I., *Optimisasi Koloni Semut dan Sistem Fuzzy untuk Kendali Lampu Lalu Lintas Pintar*, Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering, 4(2) (2022), 182–188.
- Risqiyanti, V., Yasin, H., & Santoso, R., *Pencarian Jalur Terpendek Menggunakan Metode Algoritma “Ant Colony Optimization” Pada GUI Matlab (Studi Kasus: PT Distriversa Buana Mas cabang Purwokerto)*, Jurnal Gaussian, 8(2) (2019), 272–284, <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/gaussian>.
- Sihotang, D. P. & Siregar, R., *Implementasi Ant Colony Optimization (ACO) Dalam Penyelesaian Travelling Salesmen Problem (Studi Kasus: PT. Canang Indah)*, Jurnal Pendidikan Inklusif, 8(12) (2024), 133–143.
- Supranata & Wijayanti, W., *Penjadwalan Mesin dengan Algoritma Semut*,

TALENTA Conference Series: Energy & Engineering, 6(1) (2023), 833–844, <https://doi.org/10.32734/ee.v6i1.1899>.

